

Egyensúlytól eltérő átalakulások

Egyensúlytól eltérő átalakulások

Az előzőekben láttuk, hogy az egyensúlyi diagramok alapján meg lehet határozni a kristályosodás, a fázis átalakulások stb. hőmérsékleteit.

A valóságban, ha a lehűlési sebesség nem nagyon lassú, „végtelen lassú”, hanem nagyobb, ezek a folyamatok, nem a diagram jelezte hőmérsékleten mennek végbe

Egyensúlytól eltérő átalakulások

Az eltérések oka

- a fázisátalakulások **túlhűtést** igényelnek, és a túlhűtés mértéke nem független a lehűlési sebességtől.
- A fázisátalakulások esetében jelentősen változik az összetétel is. Az összetétel megváltozása szilárd állapotban **diffúzióval** lehetséges. A diffúzió pedig időt igényel .

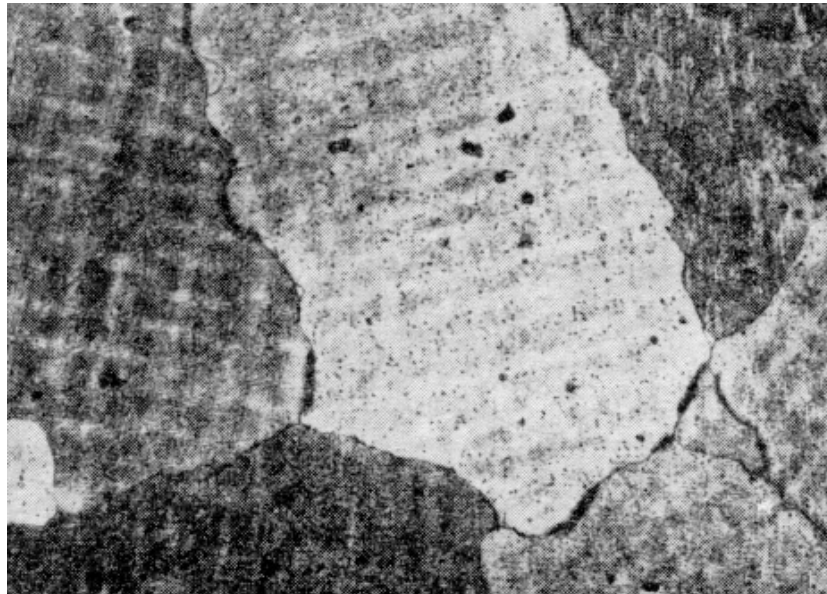
Egyensúlytól eltérő átalakulások

Az ausztenitesedés folyamata

- **Az acélokban kétféle módon keletkezhet ausztenit**
 - **kristályosodással**
 - **hevítés során**

A kristályosodással keletkező ausztenit

- **Az ausztenit szilárd oldat, ezért a kristályosodással létrejövő ausztenit összetétele nem egyenletes, réteges.**



Megjegyzés: Elvi ábra!

A hevítésnél keletkező ausztenit (egyensúlyi)

- **Az egyensúlyi diagram szerint eutektoidos acélban az ausztenitesedés 723 C°-on (A_1 hőmérséklet) játszódik le, az alábbi egyenlet szerint:**



- **A hőmérséklet nem változhat, hiszen a három fázis miatt $S_z = 0$.**

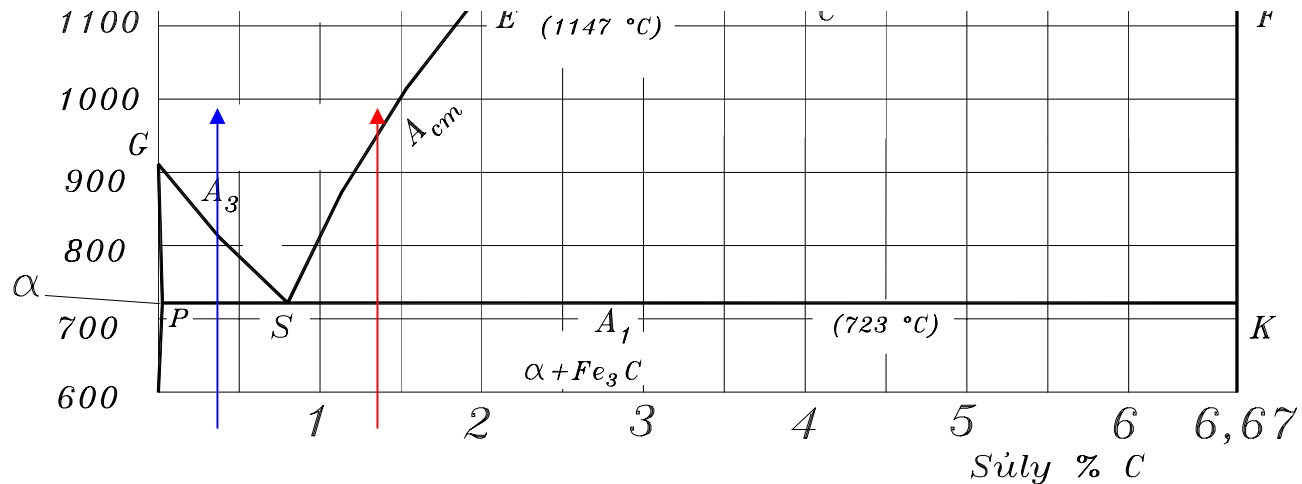
A hevítésnél keletkező ausztenit

(egyensúlyi)

- Az ausztenit képződése a fázisok határvonalán kezdődik, ott ahol a legtöbb a rácsrendezetlenség, tehát a legmagasabb az energiaszint.
- α t.k.k. rácsa átalakul l.k.k. γ -vá, és a megnövekedett C oldóképesség eredményeként a vaskarbid Fe_3C C-jának diffúziója megkezdődik.
- A folyamat csiraképződéssel jár és diffúziót igényel!

A hevítésnél keletkező ausztenit (egyensúlyi)

- **A hipoeutektoidos acéloknak a továbbiakban a ferrit alakul át ausztenitté**
- **a hipereutektoidos acéloknak az ausztenit növekvő hőmérséklettel növekvő C oldóképessége feloldja a Fe_3C_{II} -t.**



Az ausztenit képződése a valóságban

Az ausztenit képződése a valóságban nem mehet végbe az egyensúlyi hőmérsékleten, hiszen az átalakulás hajtóereje az α és γ fázisok közötti szabadenergia különbség, ami az átalakulás hőmérsékletén nulla, ezért **túlhevítésre** van szükség.

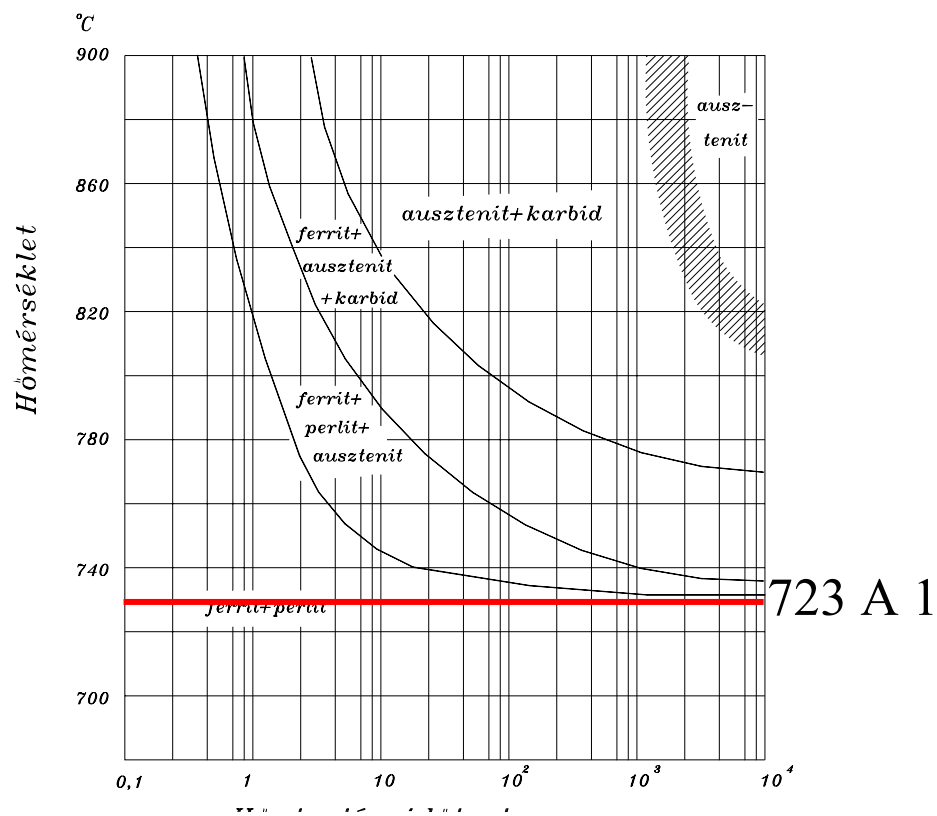
Az ausztenit képződése a valóságban

- **Az ausztenit az acélokban valóságos körülmények között létrehozható :**
 - **izotermikus hevítéssel**
 - **folyamatos hevítéssel**

Az ausztenitesedés folyamatát az ausztenitesedési diagramok mutatják.

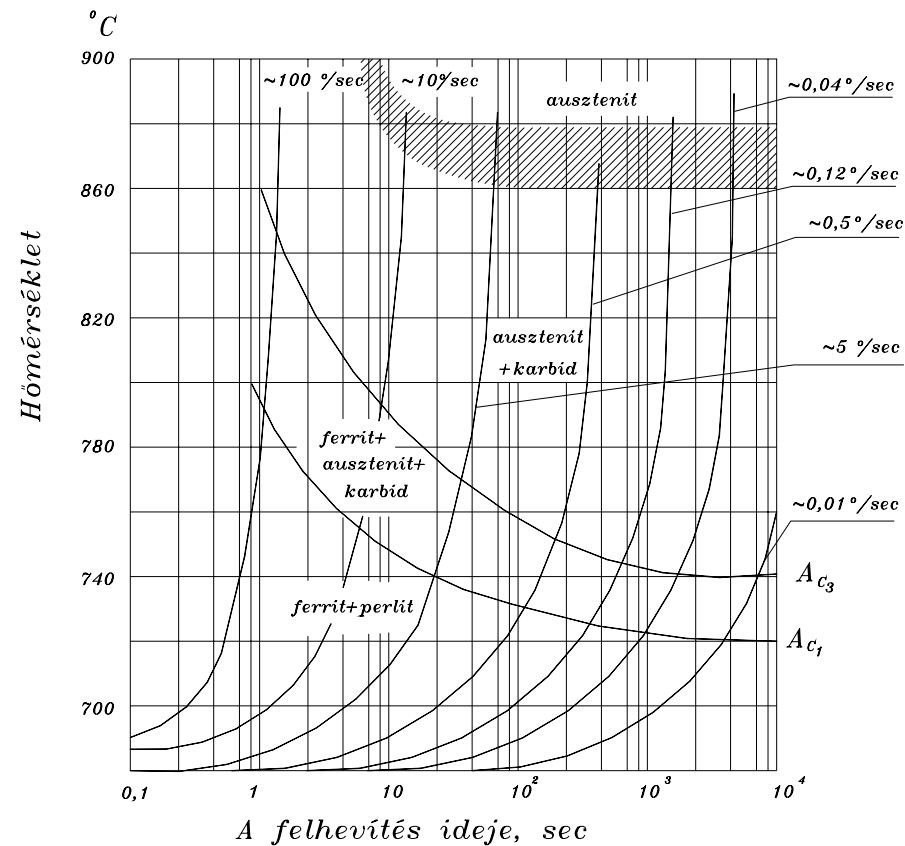
Izotermikus ausztenitesítési diagram

- Az izotermikus diagramok **használhatósága korlátozott**, mivel a gyakorlatban a nagyobb darabok esetén nehéz, vagy nem is lehet az izotermikus hevítés feltételeit megvalósítani



Folyamatos ausztenitesítési diagram

- A folyamatos hevítés sebessége az átalakulást a magasabb hőmérséklet és a kisebb idő irányába tolja el.
- A diagramokról leolvasható, hogy adott hevítési viszonyok mellett mennyi idő múlva kezdődik az átalakulás, és mennyi idő múlva ér véget



A hevítéssel keletkezett ausztenit tulajdonságai

- az összetételétől
- az összetételének egyenletességétől és
- nem utolsó sorban a szemcsenagyságtól függnnek.

A szemcsenagyság szerepe a elsősorban a lehűlés közben bekövetkező átalakulásoknál jelentős, hiszen a krisztallithatár a legreakcióképesebb.

A hevítéssel keletkezett ausztenit szemcsenagysága

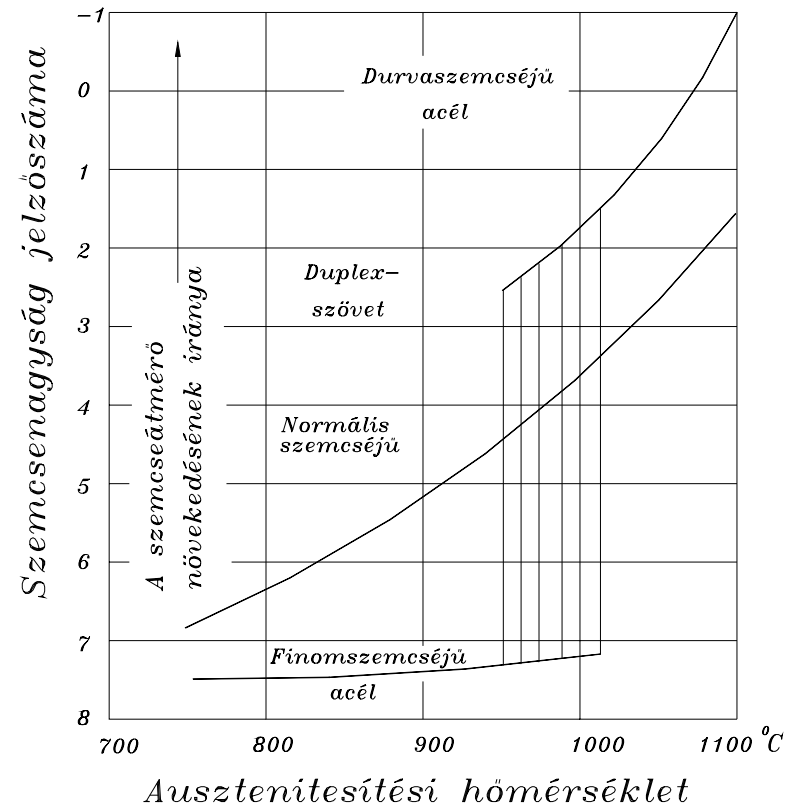
- A hevítéssel keletkező ausztenit legfontosabb tulajdonsága az, hogy **szemcsenagysága nem állandó**, hanem mindaddig, amíg az acél ausztenites állapotban van a szemcsenagysága állandóan nő, és hűtéskor a lehűlési sebességtől függetlenül megtartja a hevítésnél kialakult szemcseszerkezetet. Ezt a viselkedést **irreverzibilis szemcsedurvulásnak** nevezzük.

Mitől függ a hevítéssel keletkezett ausztenit szemcsenagysága

- **hőmérséklet**
- **hőntartási idő**
- **az ausztenit összetétele**

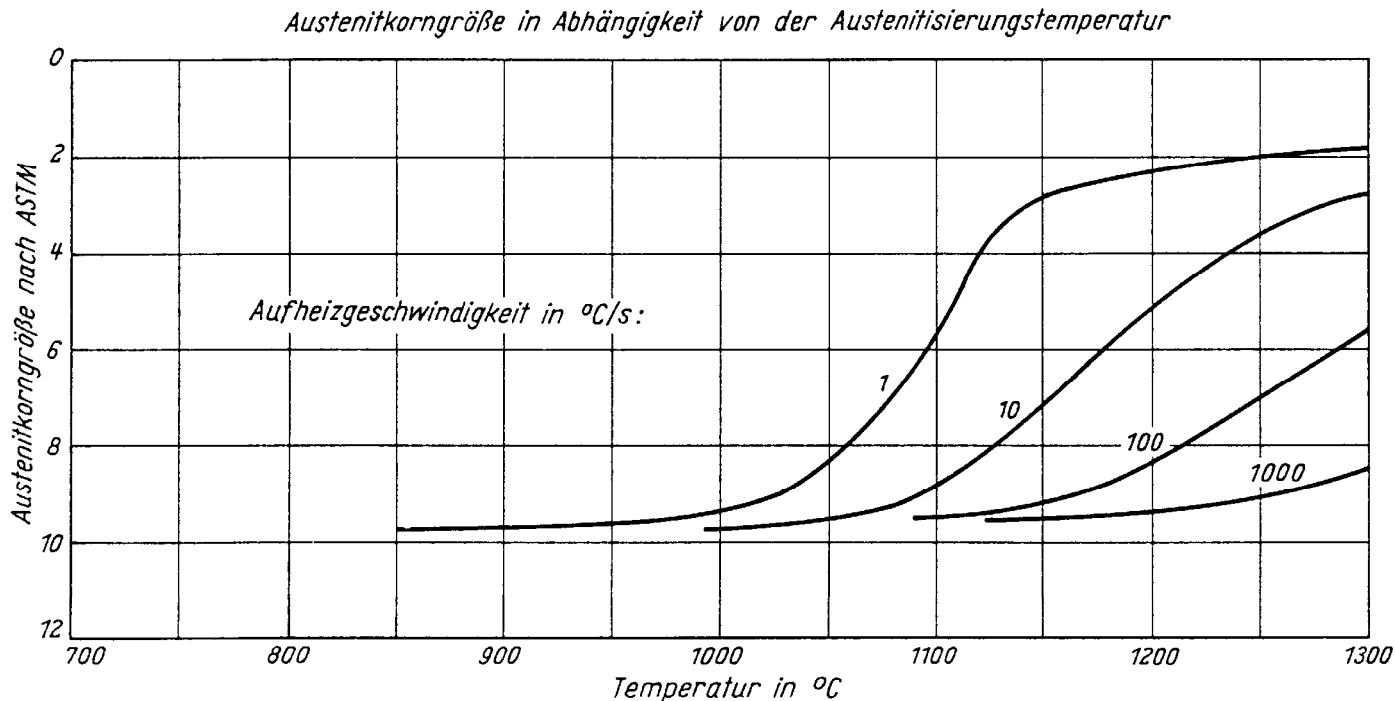
Mitől és hogyan függ az ausztenit szemcsenagysága?

- Az izzítás hőmérsékletének növelésével az ausztenit szemnagysága erősen nő.
- A hőntartási idő hatása is hasonló a hőmérsékletéhez, ha nem is olyan nagy mértékben, mint a hőmérséklettel, durvul az ausztenit. Az ausztenit összetételének hatása pl. Al finomító hatású lehet



Mitől és hogyan függ az ausztenit szemcsenagysága?

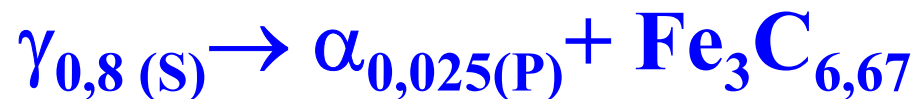
- Fontos megjegyezni, hogy a hevítés sebessége is lényeges, gyors hevítésnél, nincs idő a durvulásra



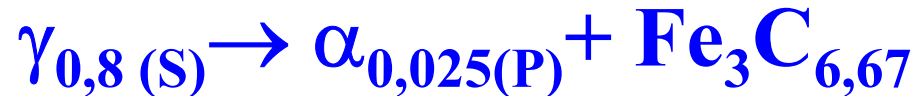
Az ausztenit átalakulásai

Az ausztenit átalakulásai

- Az ausztenit egyensúlytól eltérő módon végbemenő átalakulásai az A_1 hőmérsékleten bekövetkező eutektoidos folyamat tanulmányozásával figyelhetők meg. Az eutektoidos folyamat:



Az ausztenit átalakulásai 2



A folyamat két rész folyamatra bontható. Ezek:

- $\gamma \rightarrow \alpha$ átalakulás l.k.k-ből t.k.k.-be való átmenet
- C diffúzió, a Fe_3C képződése

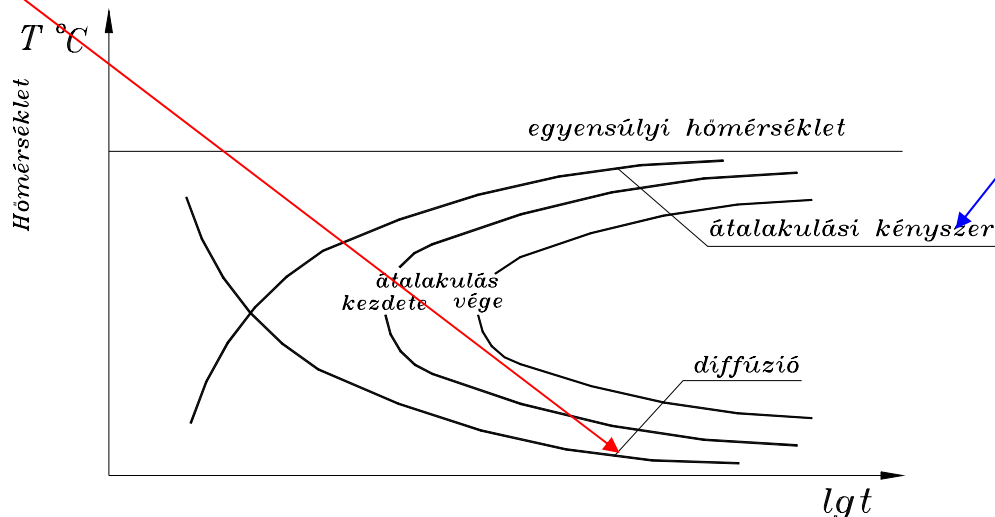
A két részfolyamat időszükséglete nagyon eltérő

Az ausztenit átalakulásai 3

- **A $\gamma \rightarrow \alpha$ átalakulás nagyon rövid idő alatt bekövetkezik, ha megvan az átalakulás hajtóereje a ΔT hőmérséklet különbséggel arányos szabadenergia különbség. Minél nagyobb a ΔT , annál nagyobb az átalakulás hajtóereje.**
- **A másik részfolyamat a karbon diffúzió, ez a C atomok mozgását jelenti. A diffúzió annál nagyobb, minél nagyobb a hőmérséklet és minél hosszabb az idő.**

Az ausztenit átalakulásai 4

- **Lassú hűtés** esetén az átalakulás mindkét rész folyamata bekövetkezik.
- Az ilyen átalakulásokat **diffúziós átalakulásnak** nevezzük.
- Az átalakulás a kristályosodáshoz hasonlóan **csira** képződéssel jár, **időszükséglete a csira képződéstől és a diffúziótól függ.**



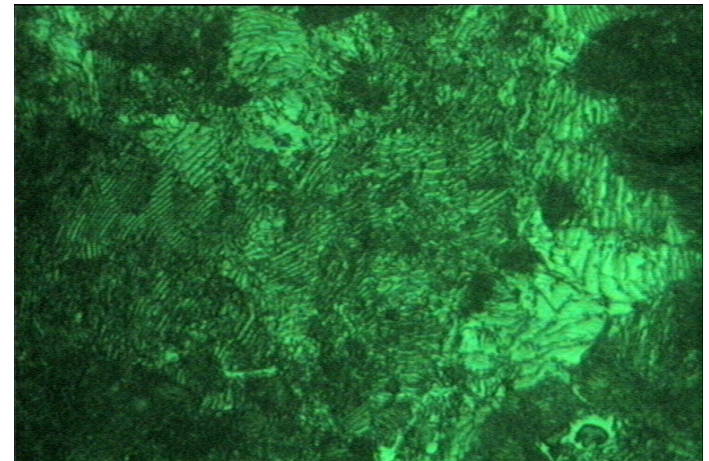
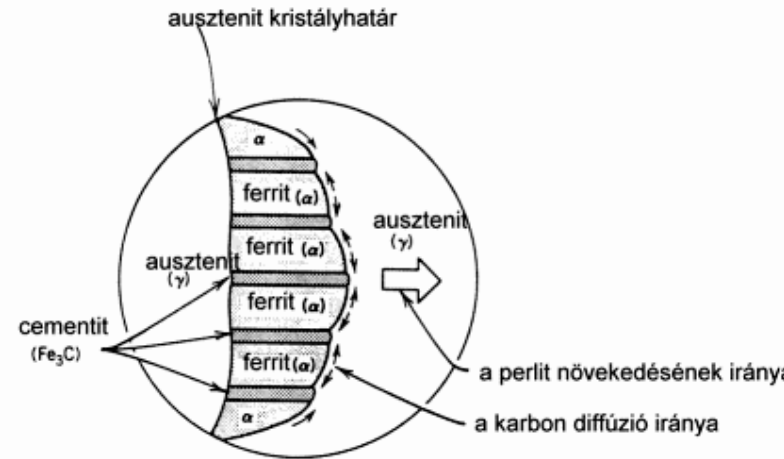
Az ausztenit átalakulásai 5

- Ha az ausztenitet az átalakulás hőmérsékletéről nagyon gyorsan (pl. vízben) hűtjük, **a két rész folyamat közül, csak a $\gamma \rightarrow \alpha$ rácsátalakulás megy végbe**, a karbon diffúzió idő hiányában nem.
- A C atomok bennszorulnak a rácsban, és azt igen nagy belső feszültséget okozva eltorzítják. Ez a **martenzites átalakulás**.
- Azt a lehűtési sebességet, amelynél nagyobb megakadályozza a diffúziót, tehát **martenzites átalakulást okoz $v_{\text{kritikus felső}}$ -nek nevezzük**.

Az ausztenit diffúziós átalakulásai

Perlites átalakulás

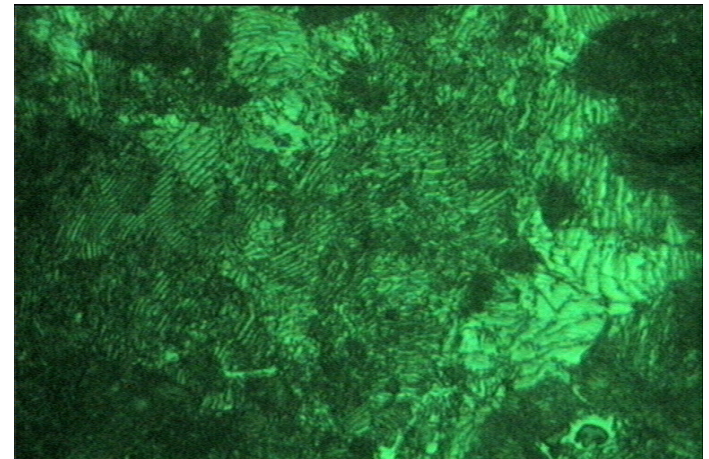
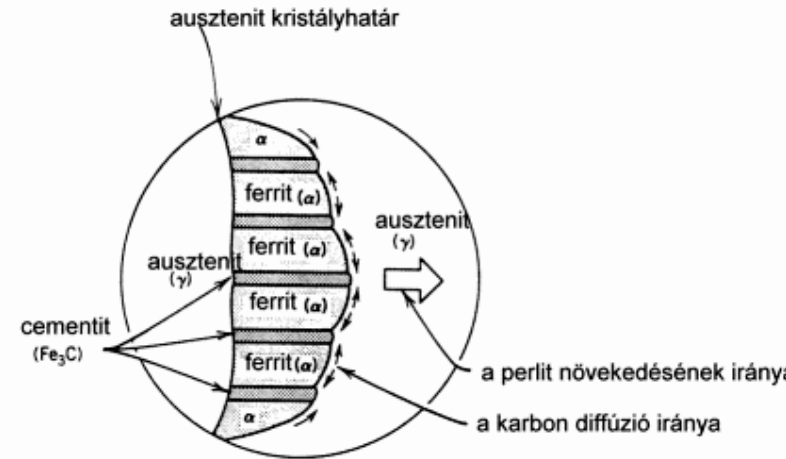
- Az ausztenit az A_1 hőmérséklet és kb. 550 C° között alakul át perlitesen
- Az átalakulás az ausztenit kristallit határon megjelenő Fe_3C csirákkal kezdődik. A C atomok az ausztenitből a cementit csira felé vándorolnak, így a csira környezete C-ben elszegényedik, és átalakul ferritté.



Az ausztenit diffúziós átalakulásai

Perlites átalakulás2

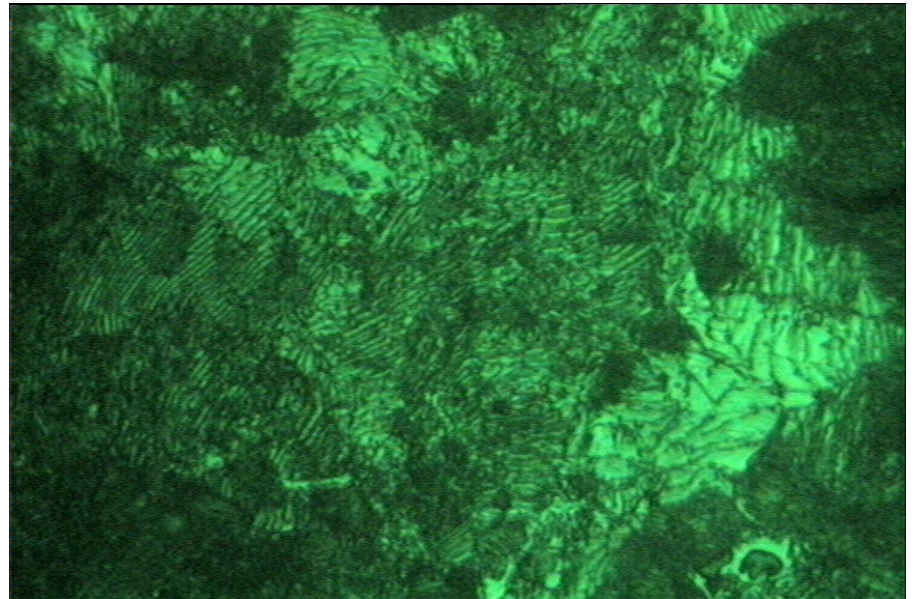
- A keletkező szövetelem a **lemezes szerkezetű perlit**.
- a **túlhűtés és a lehűlés sebessége** úgy befolyásolja, hogy a **nagyobb túlhűtés ill. sebesség a diffúzió feltételeit rontja**, tehát a **C atomok adott idő alatt rövidebb utat tudnak megtenni**, vagyis a **lemezek mérete csökken**.



Az ausztenit diffúziós átalakulásai

Perlites átalakulás3

- A kisebb vastagságú lemezből álló **finomabb szövet** szerkezet nagyobb **folyáshatárral**, **keményiséggel**, de **kisebb alakváltozó képességgel** jellemezhető.



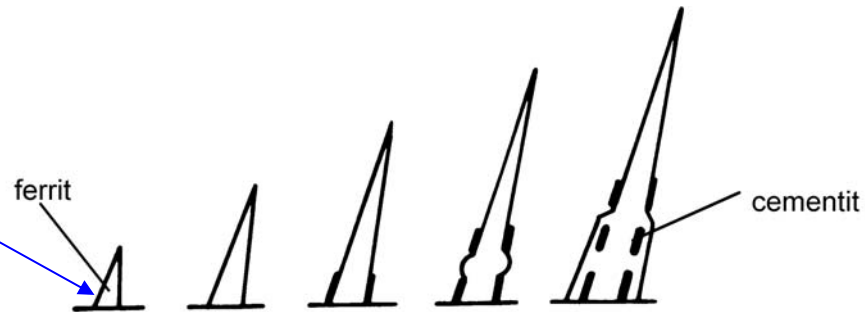
A perlites átalakulás jellemzői

- diffúziós átalakulás
- csira képződéssel jár, a kezdő csira Fe_3C
- bomlási folyamat $\gamma \rightleftharpoons \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$
- megfordítható, reverzibilis folyamat
- izotermikus és folyamatos hűtéssel is létrehozható
- a lehűtésekor képződő perlit mindig lemezes szerkezetű

Az ausztenit diffúziós átalakulásai

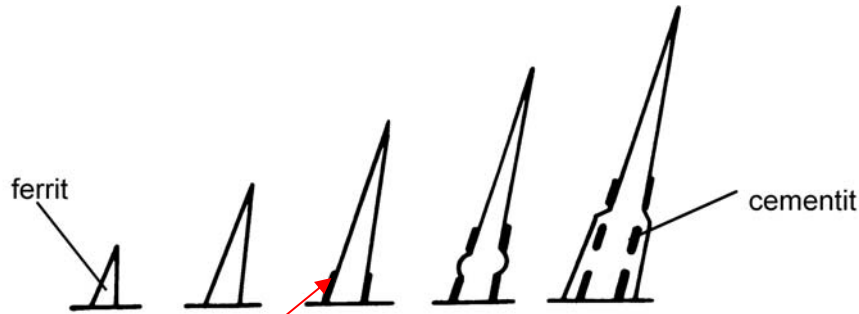
Bainites átalakulás

- Ha az ausztenitet **550 C° és kb. 250 C°** közé hűtjük az átalakulás már más mechanizmussal megy végbe.
- Az eltérés oka, hogy ebben az esetben **sokkal nagyobb a túlhűtés, tehát az átalakulás hajtóereje, így a két részfolyamat közül a $\gamma \rightarrow \alpha$ átalakulás van "kedvezőbb helyzetben".**
- Az ausztenit kristályhatáron tehát megjelennek a túl alakú **ferrit csirák**.



Az ausztenit diffúziós átalakulásai

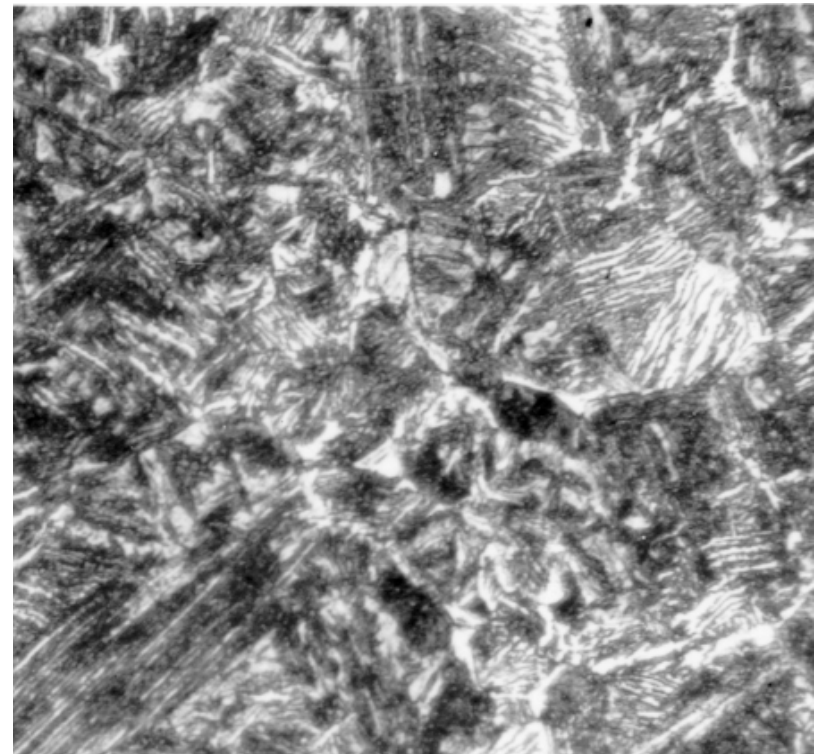
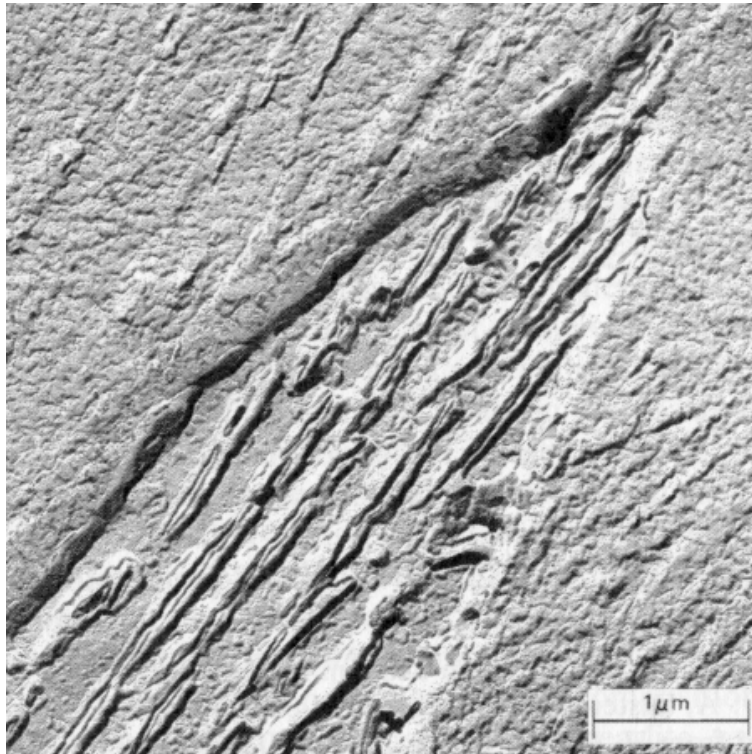
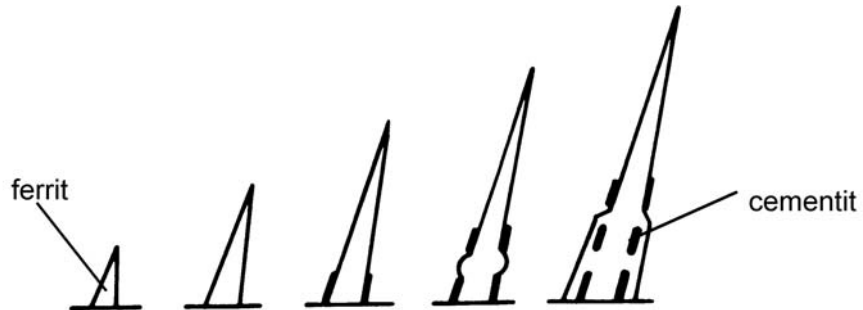
Bainites átalakulás 2



A **tútelített ferritből** azonban ezen a hőmérsékleten még ki tud diffundálni a C, tehát a ferrit tűk mellett **apró Fe_3C korongocskák** keletkeznek. A ferrit növekedési sebessége lényegesen nagyobb, mint a diffúzió biztosította cementit képződés, ezért a cementit korongokat "benövi" a ferrit, és kialakul, a **ferrit alapba ágyazott cementit korongocskákból álló szövetszerkezet, a bainit.**

Az ausztenit diffúziós átalakulásai

Bainites átalakulás 3



Az ausztenit diffúziós átalakulásai

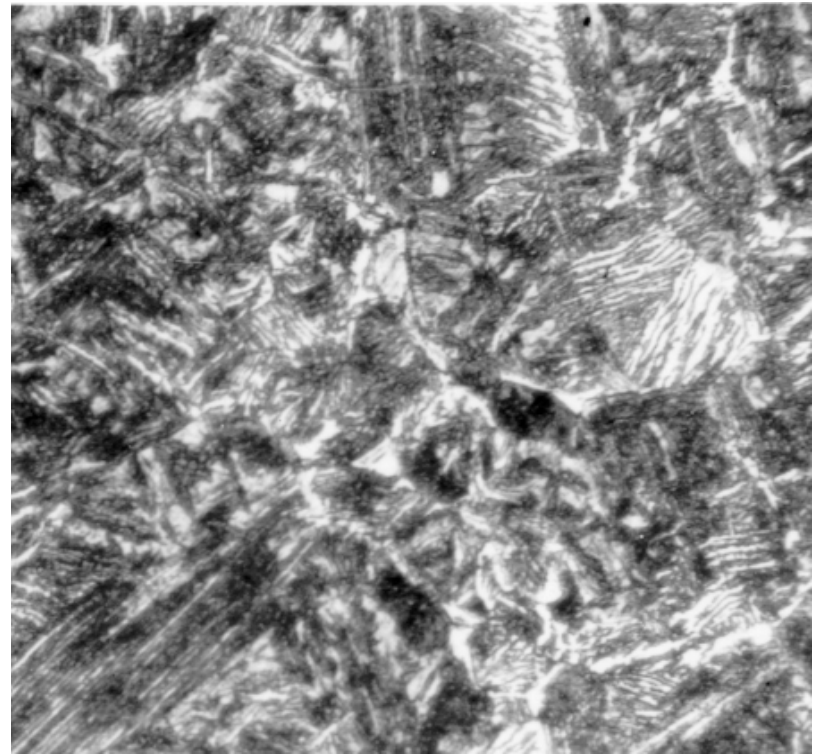
Bainites átalakulás 4

- A folyamatot a ferrit kristályok növekedése szabályozza.
- A bainit képződést is természetesen befolyásolja a **túlhűtés**.
- Ha a túlhűtés kisebb (a hőmérséklet 500 C° körül), az un. **felső bainitet** kapjuk

Felső bainit

A felső bainit szerkezete mikroszkópon jól felismerhető.

A ferrit karbon tartalma a kedvezőbb diffúzió miatt alacsony (kb. 0,025-0,006% C), csaknem megközelíti az egyensúlyit

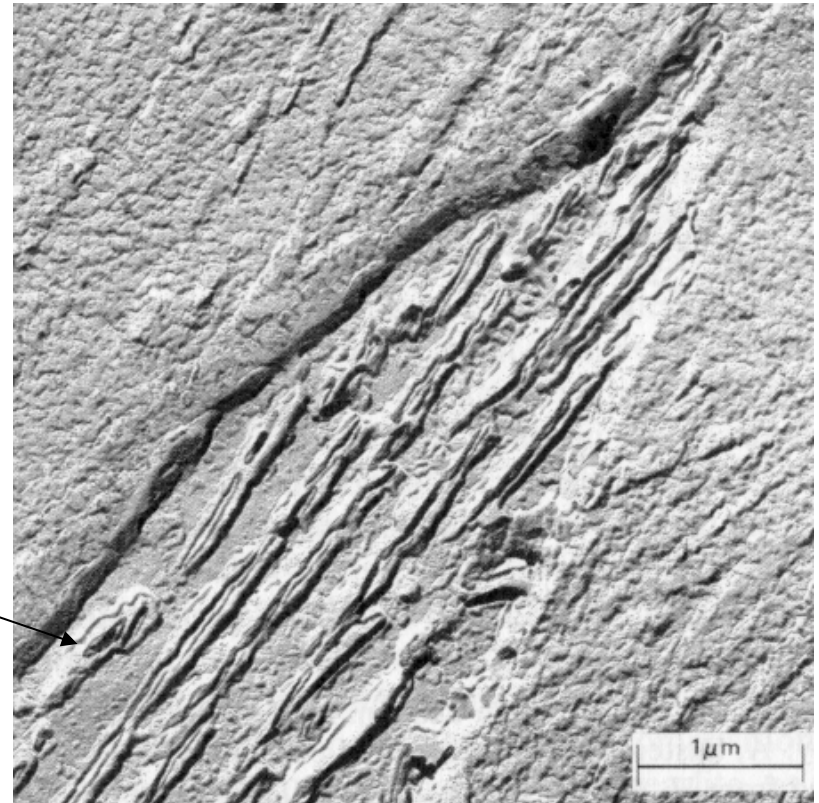


Alsó bainit

- **350 C°**alatt azonban olyan nagy a $\gamma \Rightarrow \alpha$ átalakulás hajtóereje, hogy az ausztenit kristályhatáron **karbonnal erősen túltelített ferrit tűk** jelennek meg, és a **nagyon kicsi diffúzió nem teszi lehetővé, hogy a C-atomok jelentős mennyisége kidiffundáljon Fe_3C korongokat képezve.**

Alsó bainit

- A ferrit C tartalma meghaladja az egyensúlyit (0,15-0,3 %)
- az Fe_3C már csak elektronmikroszkóp on fedezhető fel.



A bainites átalakulás jellemzői

- **diffúziós átalakulás**
- **csiraképződéssel jár, a kezdő csira a ferrit**
- **bomlási folyamat $\gamma \rightleftharpoons \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$**
- **megfordítható, reverzibilis folyamat**
- **izotermikus és folyamatos hűtéssel is létrehozható de 100%-ban csak izotermikusan**

Az ausztenit átalakulásai

Martenzites átalakulás

Ha az ausztenitet nagyon gyorsan kb. 250 C°-ra le tudjuk hűteni úgy, hogy diffúziós átalakulás ne jöhessen létre, az átalakulás egy új mechanizmussal, **martenzitesen** megy végbe.

A két részfolyamat közül, csak a $\gamma \rightarrow \alpha$ rácsátalakulás következik be.

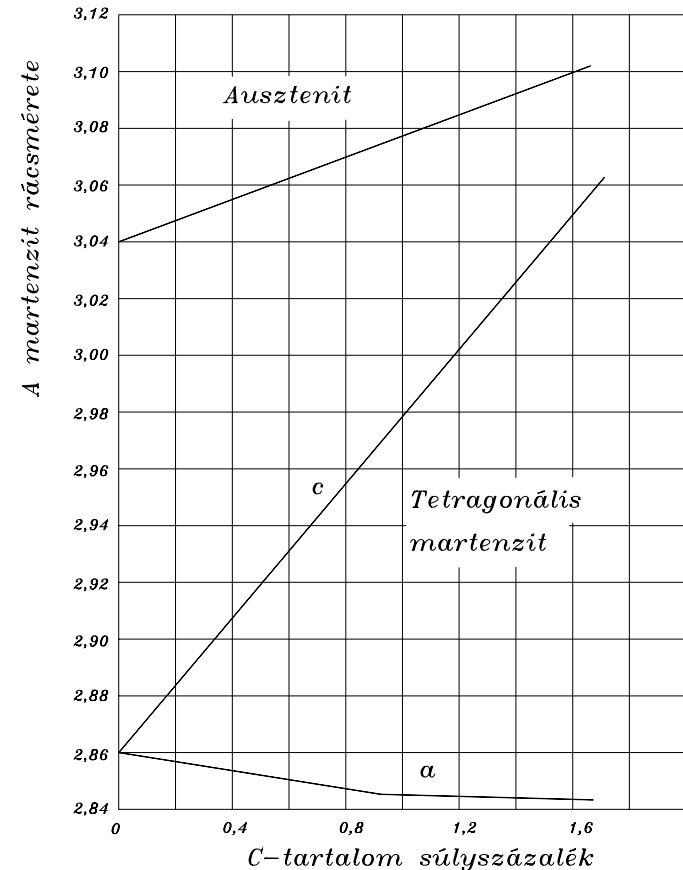
Az ausztenit átalakulásai

Martenzites átalakulás

- A diffúziós átalakulások elkerüléséhez szükséges sebesség a **felső kritikus lehűtési sebesség**.
- Az átalakulás rácsátbillenéssel jön létre, a **C atomok nem tudnak kidiffundálni, az α térközepes köbös rácsát tetragonálissá torzítják**, ugyanis a C atomok az oldaléleken, a Fe atomok közé beékelődve helyezkednek el.

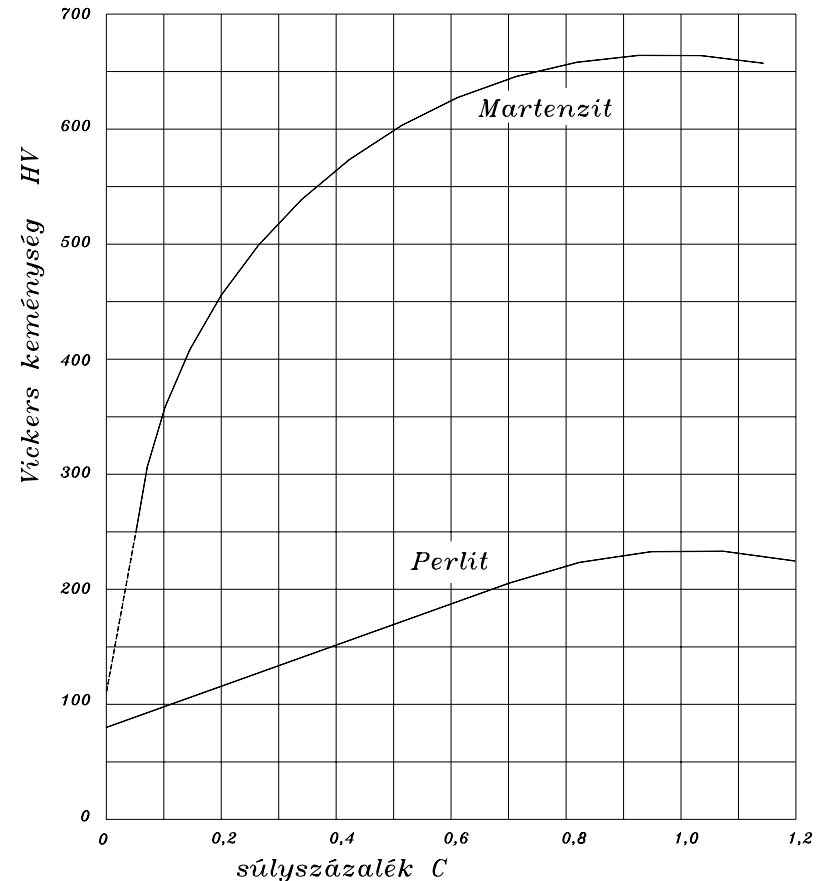
A martenzit rács torzulása

- A torzítás mértéke az ausztenit C tartalmának függvénye.



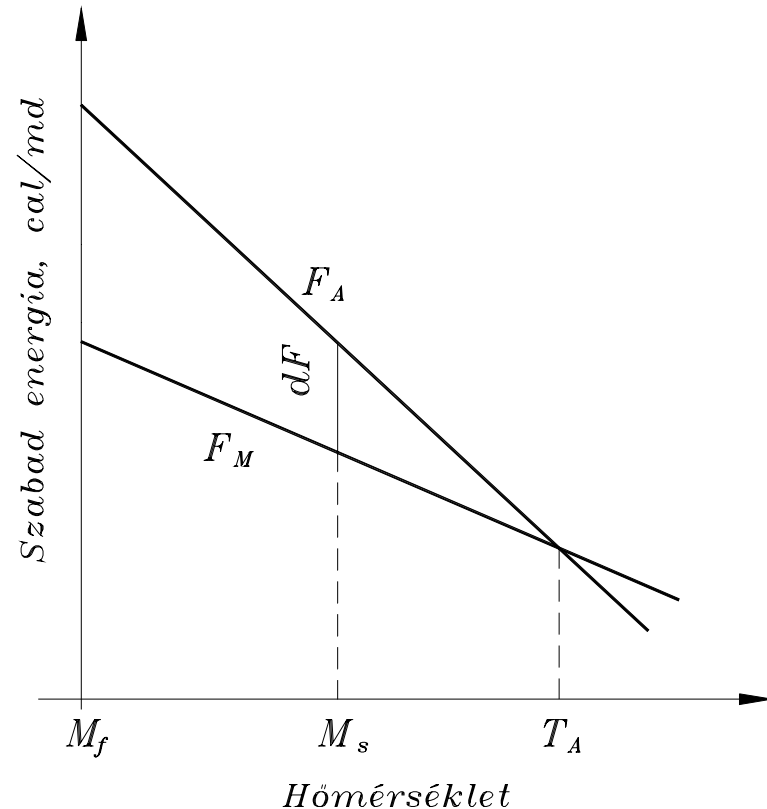
A martenzit keménysége a C tartalom függvényében

- A torzulás nagy belső feszültséget eredményez, ami a martenzitet nagyon keménnyé, rideggé teszi.



Martenzites átalakulás

- A martenzites átalakulás akkor indul meg, ha a martenzit szabadenergiája (F_M) elegendő mértékben kisebb az ausztenit szabadenergiájánál (F_A).

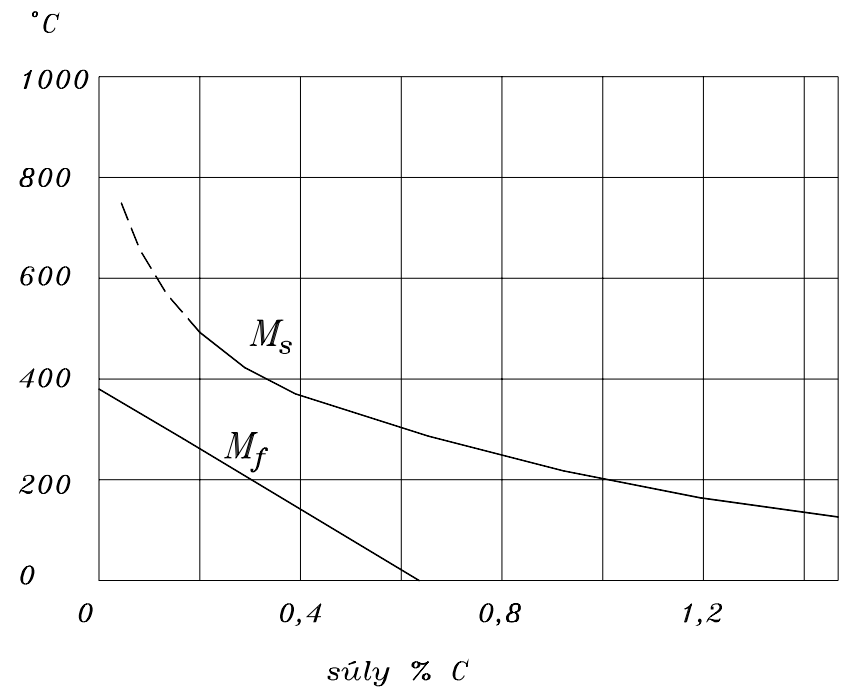


Martenzites átalakulás

- Ha az energia megvan, az **átalakulás azonnal végbemegy**, az ausztenit kristalliton belül határtól, határig nőnek a martenzit tűk.
- Mivel az energia „elhasználódik”, a további átalakulás újabb energia szükséglete, csak **folyamatos hűtéssel biztosítható**.
- Az újabb martenzittűk mérete kisebb lesz.

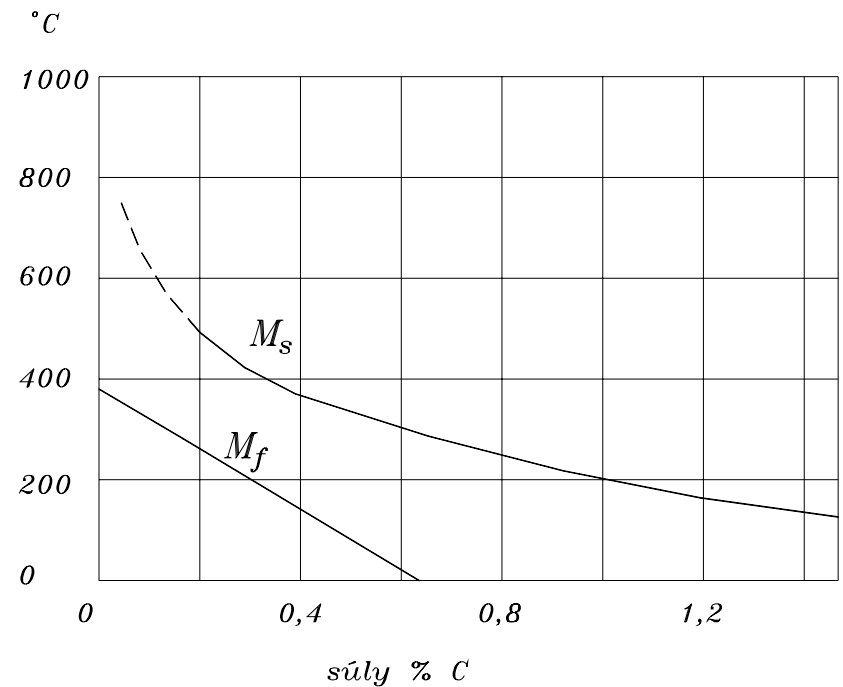
Martenzites átalakulás

- A martenzites átalakulás kezdő és befejező hőmérséklete a lehűlési sebességtől független az csak a C tartalom függvénye.



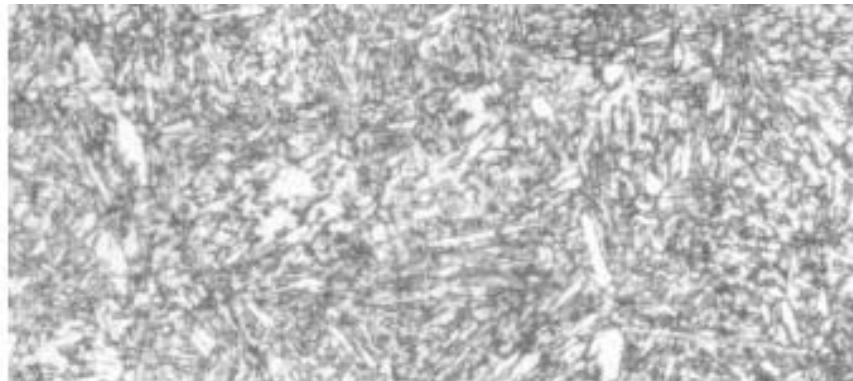
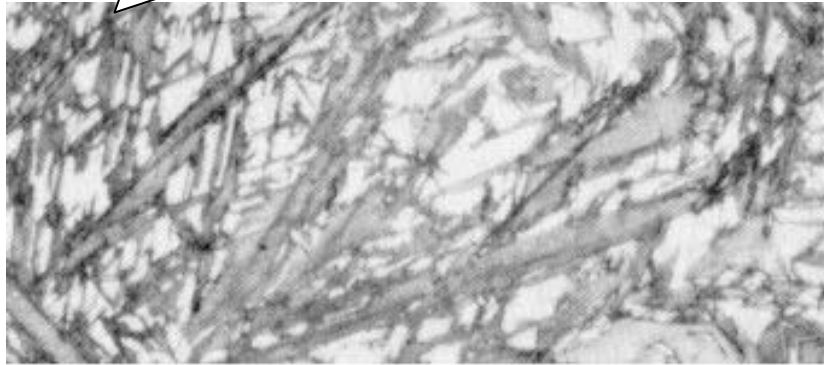
Martenzites átalakulás

- A martenzites átalakulás kezdő és befejező hőmérséklete a lehűlési sebességtől független az csak a C tartalom függvénye.



Martenzit

Durva martenzit



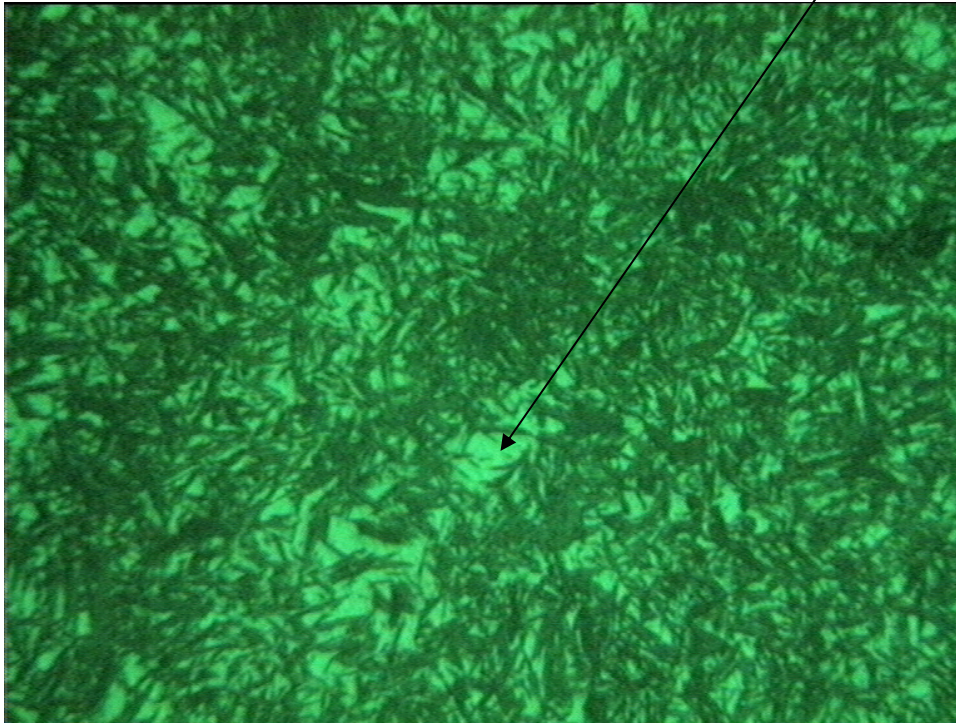
Martenzites átalakulás

Az átalakulás előrehaladásával az energia igény nő,

- mivel a fajtérfogat növekedés miatt az át nem alakult részeket a martenzit „összenyomja”
- A tűk mérete egyre kisebb, így nő a felületi energia igény is
- Az ausztenit tömegével arányos energia pedig csökken.
- Tehát : **Az átalakulás nem lehet 100%-os**

Martenzites átalakulás

Az át nem alakult ausztenit a **maradék ausztenit**.



A martenzites átalakulás jellemzői

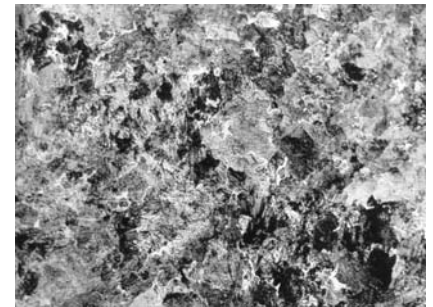
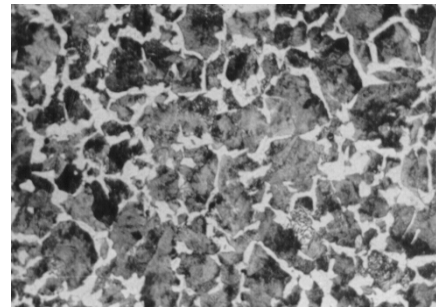
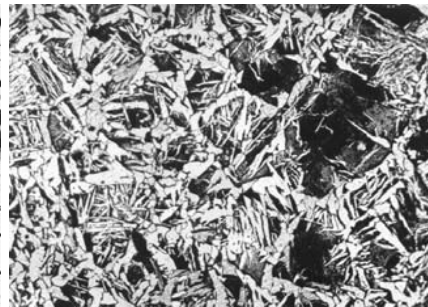
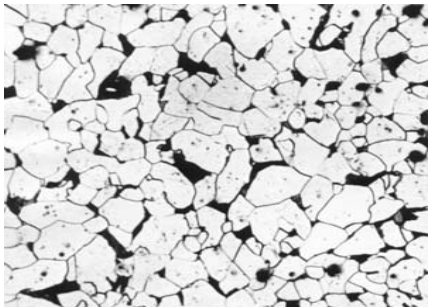
- akkor jön létre ha $v > v_{\text{kritikusfelső}}$
- nem diffúziós átalakulás, nem jár csira képződéssel
- rácsátbillenéssel jön létre
- csak folyamatos hűtés mellett megy végbe
- nem bomlási folyamat $A \Rightarrow M$

A martenzites átalakulás jellemzői 2

- **irreverzibilis, nem megfordítható, a martenzitből hevítéskor, nem ausztenit keletkezik**
- **M_s és M_f csak a C-tartalomtól függ, a lehűlési sebességtől nem**
- **nem lehet 100% martenzitet létrehozni, mindig van maradék ausztenit**

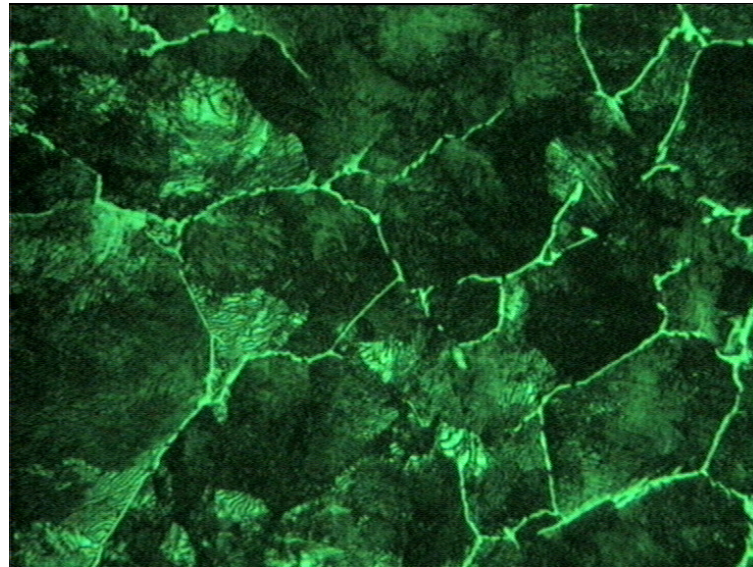
Hipoeutektoidos acélok

- Az ausztenit eutektoidos átalakulását megelőzi a ferrit kiválása.
- Az átalakulás diffúziós, és mivel megelőzi az eutektoidos átalakulást **proeutektoidos ferritnek** nevezzük.



Hipereutektoidos acélok

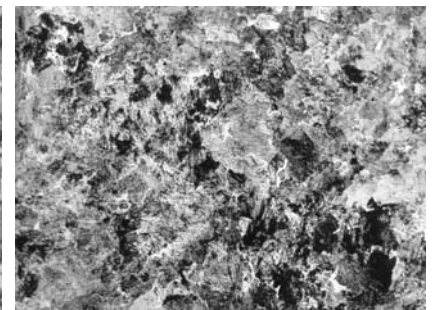
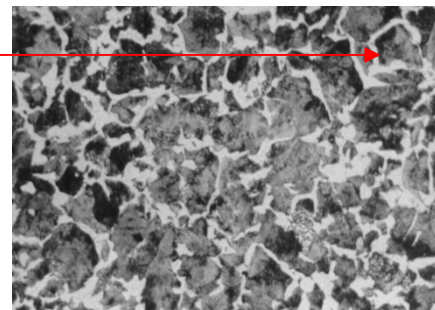
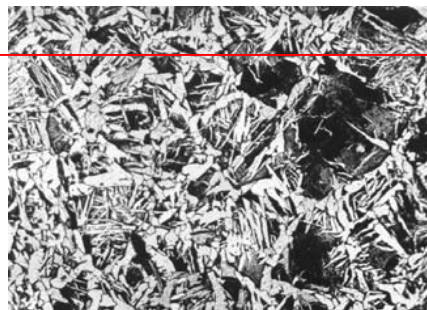
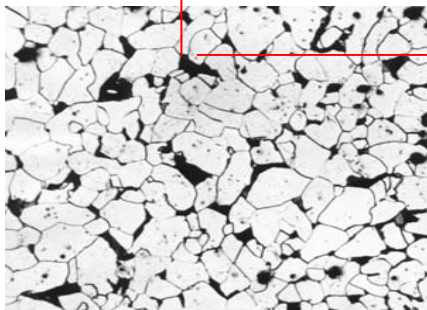
- **Az ausztenit eutektoidos átalakulását megelőzi a cementit kiválása.**
- **Lehet:**
 - **szemcsés**
 - **hálós**



Proeutektoidos átalakulások

A keletkező proeutektoidos fázisok mennyisége függ:

- túlhűtéstől, növelésével csökken
- lehűlési sebességtől, növelésével csökken
- az ausztenit szemnagyságától



Átalakulási diagramok

- **Az átalakulási diagramok egy acél ausztenitjének különböző hőmérsékleteken bekövetkező átalakulásainak időszükségletét mutatják.**
- **Az ausztenit átalakulásait hasonlóan az ausztenitesedéshez vizsgálhatjuk:**
 - **izotermikus és**
 - **folyamatos hűtés közben.**

Átalakulási diagramok 2

- Az átalakulási diagramokban **különböző hőmérsékleteken**
- az **átalakulás megkezdéséhez (inkubációs idő)**, és a
- **befejezéséhez szükséges időket** tüntetjük fel az idő függvényében.
- Az idő **logaritmikus léptékben van!**

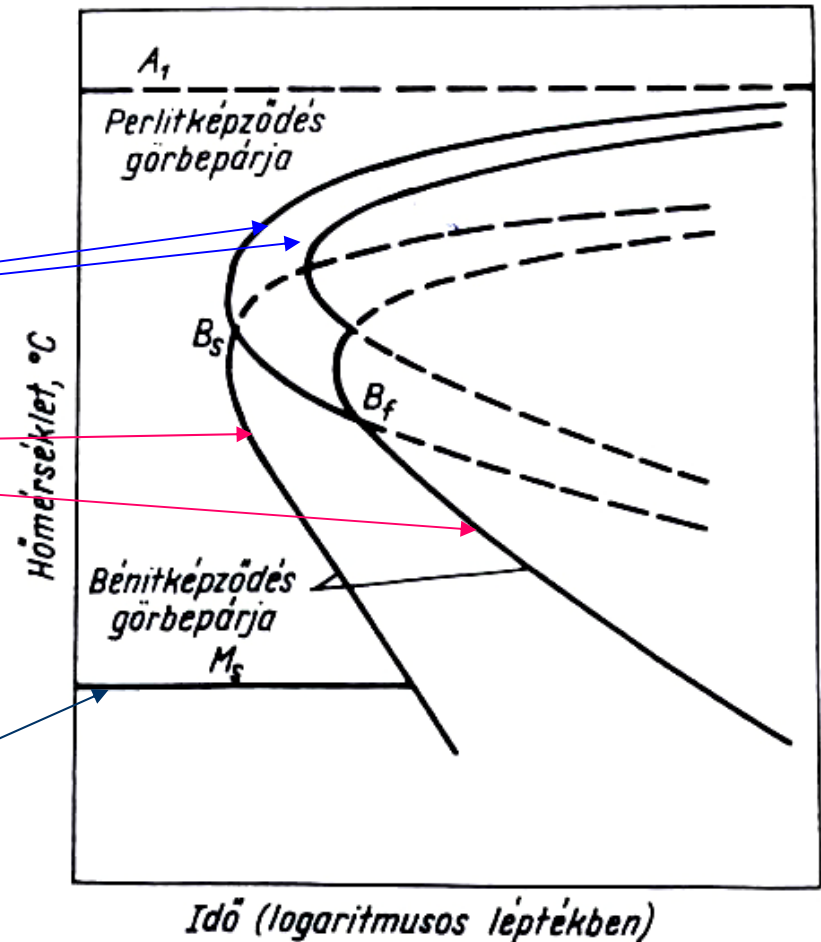
Izotermikus diagramok

Elvben minden acél izotermikus átalakulási diagramjának három része van

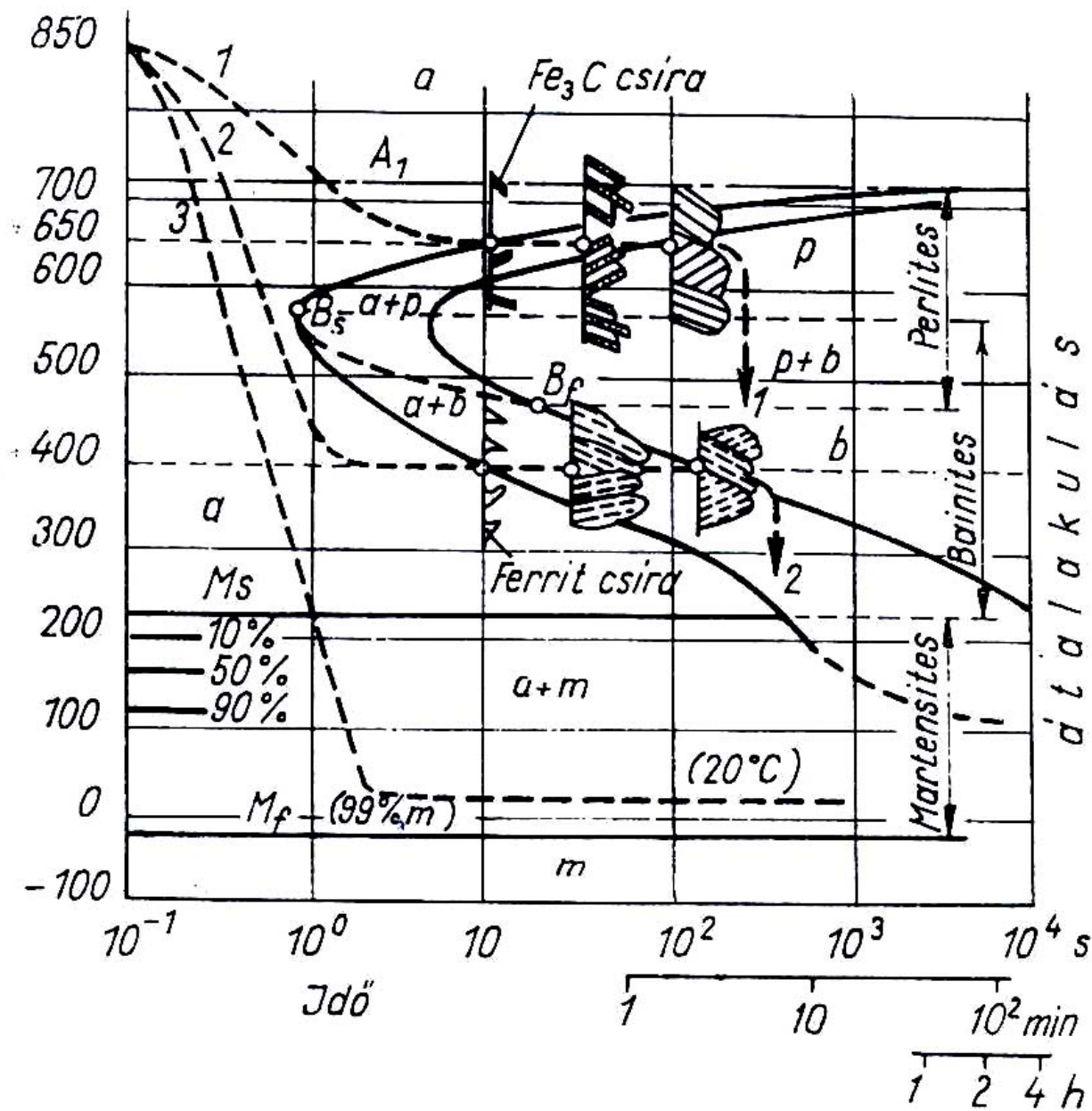
- **perlites**
- **bainites** átalakulások kezdő és befejező C görbéi

Ezek az ötvözetlen acéloknál nem jelennek meg külön

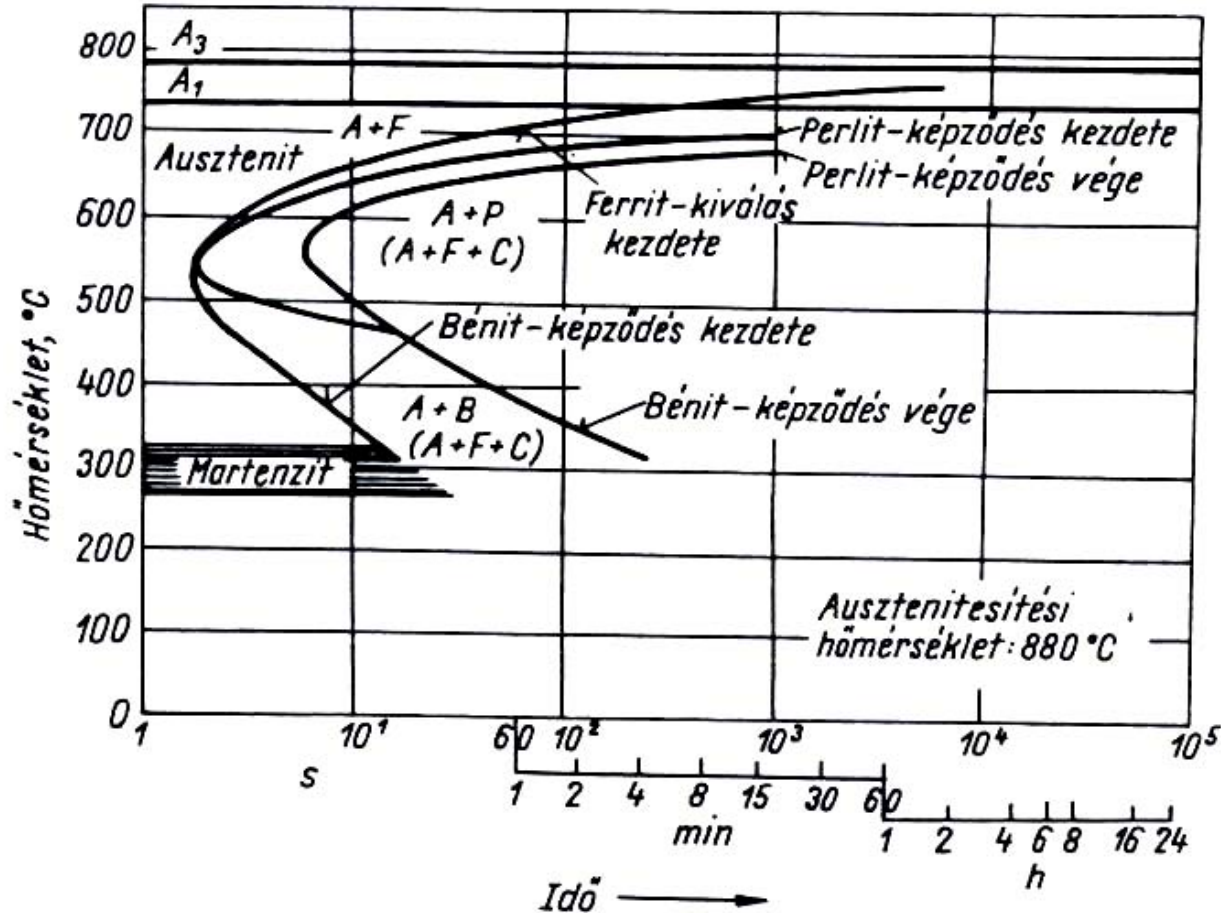
- **martenzites** átalakulása vonalai



Eutektoidos acél C görbéje



A C görbe vonalai (hipoeutektoidos acél)

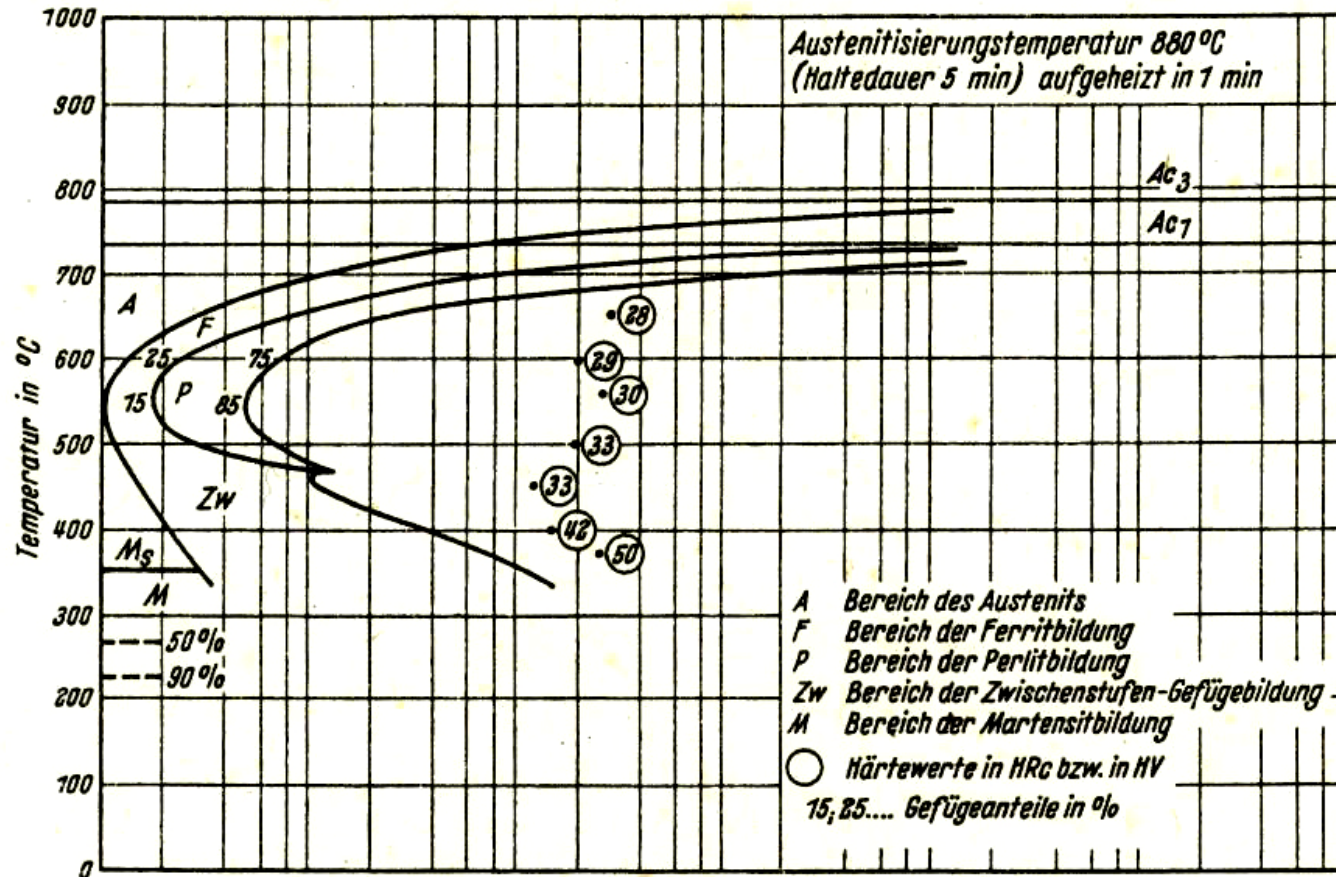


Valóságos acélok C görbéi

Stahl Ck 45
(Schmelze 8)

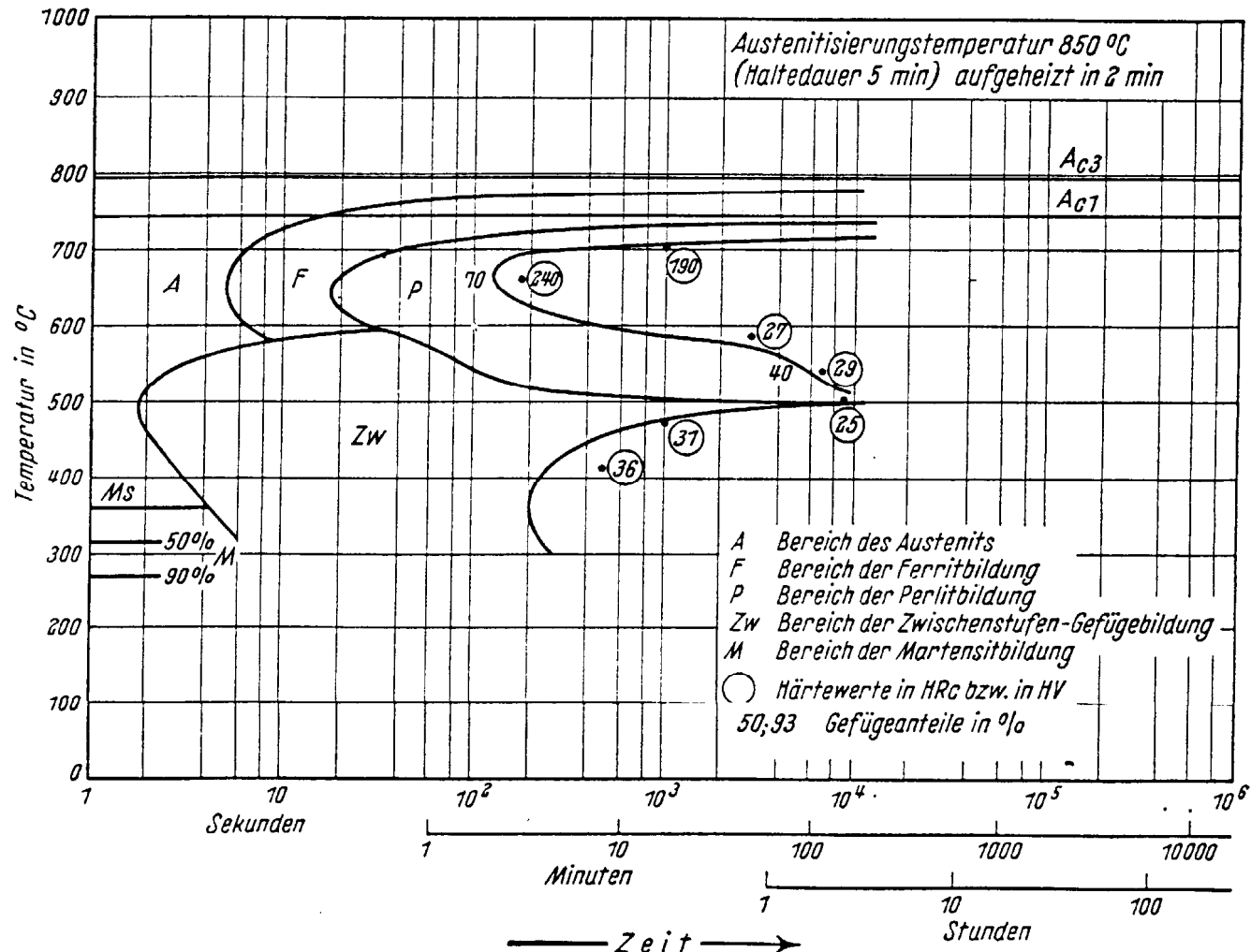
Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubild
(isothermisch)

Chemische Zusammensetzung in %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
	0,44	0,22	0,66	0,022	0,029	0,15	—	—	—	0,02



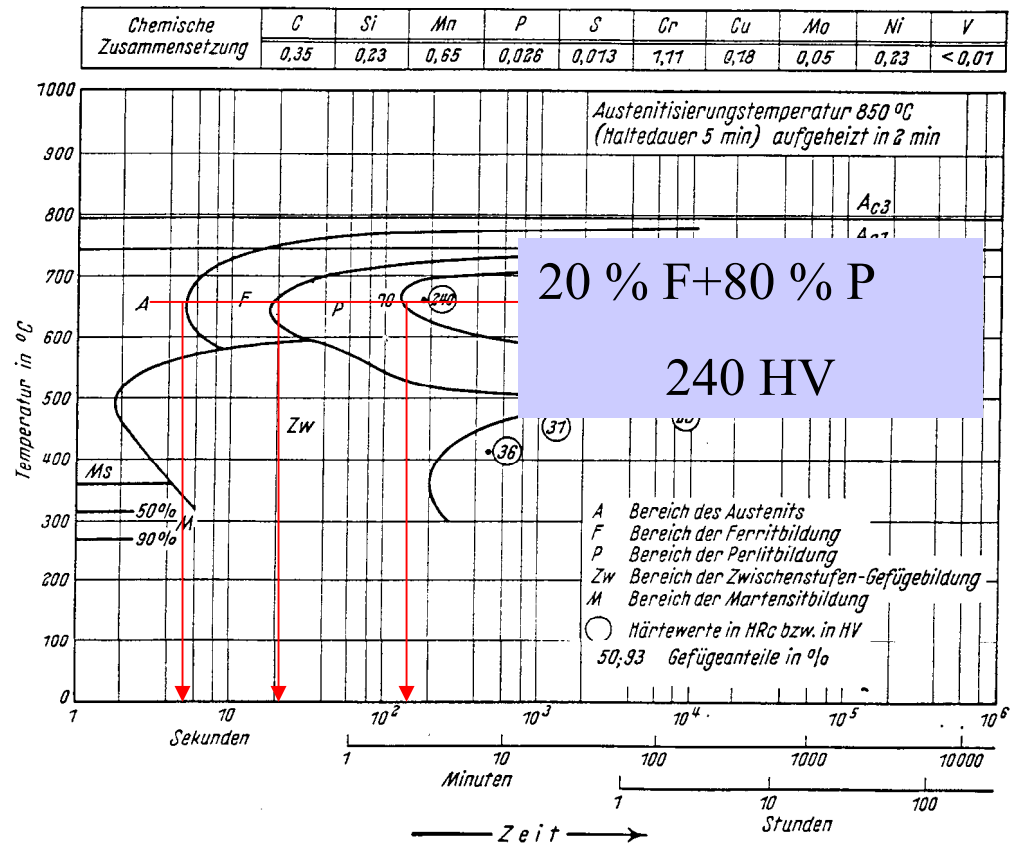
Valóságos acélok C görbéi

Chemische Zusammensetzung	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
	0,35	0,23	0,65	0,026	0,013	1,11	0,18	0,05	0,23	< 0,01



Izotermikus átalakulási diagramok

- Az izotermikus átalakulási diagramot csak izotermásan olvashatjuk le!



Folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramok

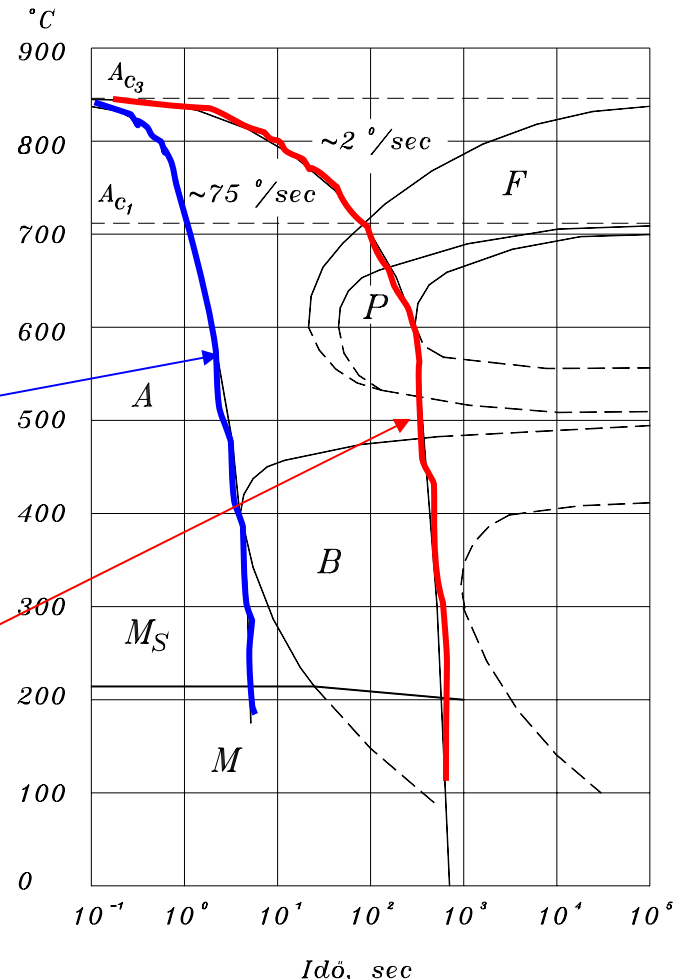
- A gyakorlatban a lehűtés ritkán izotermikus, leggyakrabban folyamatos, ezért szükséges meghatározni, a folyamatos lehűlésre érvényes átalakulási diagramokat is.
- Folyamatos hűtés közben az ausztenit ugyanazokká a szövetelemekké, tehát perlitté, bainitté, és martenzitté alakul.

A folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagram értelmezése

- **Átalakulás csak ausztenitból lehetséges!**

V_{fkrit}
felső kritikus lehűlési sebesség

Alsó kritikus lehűlési sebesség



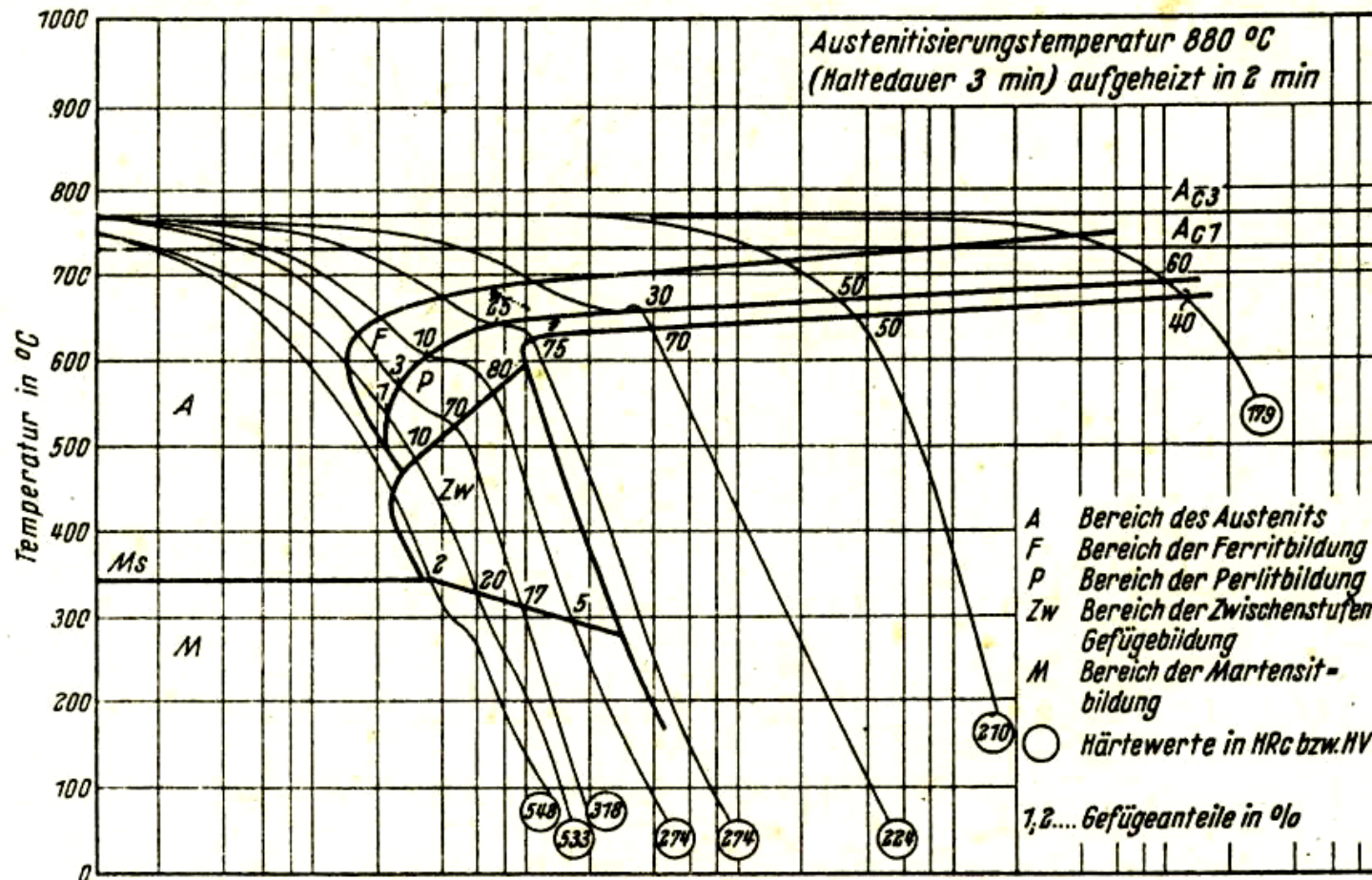
Folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramok

Stahl Ck 45
(Schmelze 8)

Zeit - Temperatur - Umwandlungs - Schaubild
(kontinuierlich)

II-101 E

Chemische Zusammensetzung	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
	0,44	0,22	0,66	0,022	0,029	0,15	—	—	—	0,02



Folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramok

Chemische Zusammensetzung	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
	0,35	0,23	0,65	0,026	0,013	1,11	0,18	0,05	0,23	< 0,01

